

| | |
|--------------|---|
| Title | 人間共存型ロボットのための機能性流体アクチュエータとそのシステム化に関する研究 |
| Author(s) | 山口, 雄平 |
| Citation | 大阪大学, 2005, 博士論文 |
| Version Type | |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/46835 |
| rights | |
| Note | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。 |

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

| | |
|------------|--|
| 氏名 | 山 口 雄 平 |
| 博士の専攻分野の名称 | 博 士 (工 学) |
| 学位記番号 | 第 19807 号 |
| 学位授与年月日 | 平成 17 年 9 月 30 日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電子制御機械工学専攻 |
| 学位論文名 | 人間共存型ロボットのための機能性流体アクチュエータとそのシステム化に関する研究 |
| 論文審査委員 | (主査) 教授 古 莊 純次 (副査) 教授 藤田喜久雄 教授 田中 敏嗣 助教授 大塚 敏之 |

論 文 内 容 の 要 旨

本研究では、人間共存型ロボットの安全性という観点から機能性流体を用いたクラッチ型アクチュエータの高性能化を行い、次に人間共存型ロボットであるリハビリ支援ロボットおよび力覚提示システムに関する研究を行った。

第 1 章では、本研究の目的および概要について述べた。さらに、クラッチ型アクチュエータ、サーボモータ、空気圧アクチュエータの比較を行い、クラッチ型アクチュエータが高い安全性を保つために有効であることを示した。

第 2 章では、現行の国内・国際安全規格等を紹介しながら、人間共存型ロボットが満足すべき安全基準について述べた。次に、本研究で用いる機能性流体である MR 流体および ER 流体についての概略および MR アクチュエータと ER アクチュエータについて説明を行った。

第 3 章では、高出力かつ高速応答を実現目標とした MR アクチュエータの開発について述べた。この MR アクチュエータは、ケイ素鋼板を積層した C 型ヨークを用いることで、従来の MR アクチュエータよりも大出力で高速に応答することができ、最大トルクが約 40 [Nm]、時定数が数ミリ秒のアクチュエータであり、同サイズのサーボモータと比べて数十倍のトルク/慣性比を持つ。

第 4 章では、第 3 章で開発した MR アクチュエータを用いた安全性の高いワイヤー駆動型力覚提示システムの開発について述べた。本システムの特徴は、アクチュエータシステムを力覚提示用アクチュエータとワイヤーの張力調節用アクチュエータの 2 つで構成していることにある。最大提示力 600 [N] という強力な力を操作者に与えることができるが、その安全性は定量的に評価することができ、機構レベルで安全性を保証することができる。また、トルク/慣性比の高いアクチュエータを用いているため、高周波数成分を含む力覚の提示が可能である。

第 5 章では最初に、コンパクト型 MR アクチュエータの開発について述べた。この MR アクチュエータは、クラッチ出力部の低慣性化、コンパクト化および高速応答を開発目標として研究を行った。定格トルクは約 10 [Nm] であり、トルク/慣性比は同程度の定格トルクをもつ AC モータ、DD モータの約 40 倍の値を持ち、極めて加速性の良いアクチュエータとなった。次に、この MR アクチュエータを用いた 2 次元力覚提示システムの開発について述べた。開発した 2 次元力覚提示システムは、最大約 200 [N] の提示力を出し、また高剛性の仮想壁や高周波数成分を含む力覚を提示することができる。さらにバックドライブ性に優れたシステムであり、自由空間における良好な自由感を表現できる。

第6章では、実装型 ER アクチュエータの開発とそれを用いた上肢リハビリ支援6自由度ロボット（セラフィ）の研究開発について述べた。本 ER アクチュエータは、クラッチ部の機密性を向上させ、従来の ER アクチュエータにはないコンパクト性と長期耐久性を実現した。セラフィは、脳卒中後の上肢機能障害に対するリハビリ支援を目的として研究開発を行った。手首を含む上肢全体の協調運動に焦点を当てたリハビリプログラムを提供できる点が、セラフィの特徴である。

最後に、第7章で本論文の結論を述べた。

論文審査の結果の要旨

本研究は、人間と空間を共有しながら活動するロボット（人間共存型ロボット）に要求される高い安全性の確保に対して、機能性流体を用いたクラッチ型アクチュエータが大きく貢献することを基礎として、機能性流体アクチュエータの高性能化とそれを用いた人間共存型ロボットの研究開発を行うものである。機能性流体としては、磁場でそのレオロジー特性が制御できる MR 流体および電場でそのレオロジー特性が制御できる ER 流体を用いている。

機能性流体アクチュエータの高性能化については、以下の3つの研究開発を行っている。

(1)高出力・高速応答 MR アクチュエータの研究開発では、ケイ素鋼板を積層した C 型ヨークを用いることで、時定数が数ミリ秒であり、最大トルクが 40 Nm の MR アクチュエータを実現している。これは従来開発されてきた MR アクチュエータよりも極めて高速に応答し、かつ大トルクを発生できるものである。(2)コンパクト型 MR アクチュエータの研究開発では、C 型ヨークを使うことなく磁路の構造を工夫することで、時定数が数ミリ秒の高速応答とコンパクト性を両立している。またアクチュエータの出力慣性が極めて小さいため、同程度のトルクを発生する従来のサーボモータに比べて約 40 倍のトルク/慣性比をもち、高い加速性を有する。(3)実装型 ER アクチュエータの研究開発では、シールによる摺動抵抗を増加させることなくシール性を高め、効率的にトルクを発生させる機構設計を行う等により、コンパクトかつ高い長期耐久性をもつ ER アクチュエータを実現している。

次に、上記で開発した機能性流体アクチュエータを用いて、人間共存型ロボットであるリハビリ支援ロボットおよび力覚提示システムの研究開発を下記のように行っている。

(1)高出力・高速応答 MR アクチュエータを用いてワイヤー駆動力覚提示システムの研究開発を行っている。本システムでは、最大 600 N という強力な提示力を、高い安全性を保証しながら操作者に与えることができる。(2)次に、コンパクト型 MR アクチュエータを用いた 2 次元力覚提示システムの研究開発を行っている。低摩擦・高剛性のトルク伝達システムを構築し、トルク/慣性比の高い MR アクチュエータによって駆動することで、本システムは高剛性の仮想壁や高周波数成分を含む力覚を提示することができ、また、バックドライブ性に優れたシステムであるため、自由空間における良好な自由感を表現できる。(3)最後に、実装型 ER アクチュエータを用いて 6 自由度を有する上肢リハビリ支援ロボットの研究開発を行っている。本ロボットは、脳卒中後の上肢機能障害に対するリハビリ訓練を提供することを主な目的としており、手首を含む上肢全体の協調動作に関する 3 次元リハビリ訓練が提供できる世界初のロボットである。把持部の姿勢を決定する機構および駆動伝達系は、軽量化と高いバックドライブ性を目標として研究開発されており、新規な機構が開発されている。また、本ロボットは、2005 年「愛・地球博（愛知万博）」におけるプロトタイプロボット展において展示され、多くの来場者が本ロボットによるリハビリプログラムを体験し、好評を得ている。

以上のように、本論文は高性能な機能性流体アクチュエータの研究開発と、開発したアクチュエータを用いた人間共存型ロボットの構築について述べており、学術的に極めて有用な知見を提供するものである。本論文により、安全性の高いリハビリ支援ロボットや力覚提示システムの開発が可能となり、また今後開発が望まれている各種の人間共存型ロボットにおける安全性の問題に対して強力な解決手段を提供できる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。